

# 국내 5대강 유역의 기후변화에 의한 홍수 취약성 평가에 관한 연구

## Study of the Flood Vulnerability Assessment on 5 River Basins in Korea under Climate Change

이문환\*, 이병주\*\*, 정일원\*\*\*, 배덕효\*\*\*\*

Moon Hwan Lee, Byung Ju Lee, Il Won Jeong, Deg Hyo Bae

### 요 지

본 연구의 목적은 기후변화에 따른 홍수 취약성 평가 방법을 제안하고 미래 기후시나리오를 이용하여 국내 5대강 유역에 대해 홍수취약지역을 시·공간적으로 평가하는 데에 있다. 이에 현 기후상태의 홍수 취약성을 평가하고자 유역의 지형, 인문·사회 정보를 수집하였으며, 관측 기상, 수문자료와 수문모형 모의로부터 유역평균강수량 및 유역별 유출량을 산정하였다. 이상의 자료를 토대로 홍수와 관련된 취약성 지표를 선정 및 산정하여 현재 기후상태(1971~2000년)에서의 홍수취약성을 평가하였다. 또한 기후변화 영향을 고려하기 위해 3개의 온실가스배출시나리오를 기반으로 생산된 13GCMs 별 미래 기후시나리오 자료를 수집하였으며, 3개의 유출모형에 적용, 다수의 유출시나리오를 생산하여 현재 기후상태(1971~2000년) 대비 미래 세기간 S1(2011~2040년), S2(2041~2070년), S3(2071~2100년)의 홍수 취약성을 평가하였다. 현재 기후상태에 따른 홍수취약지역을 평가한 결과 대체로 한강 중·하류지역과 영·섬강 하류 지역에서 높게 나타났으며, 낙동강 중·상류유역은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 또한 기후변화시나리오를 적용할 경우 취약지역의 공간적인 분포는 기준기간과 유사했으나, 대부분의 유역에서 심도는 증가할 것으로 나타났다. 특히 낙동강 권역에서 가장 크게 변할 것으로 분석되었는데 이는 하천의 적응능력이 작아 상대적으로 기상·수문지표의 변화에 더욱 민감하게 반응하는 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 기후변화, 취약성, 홍수, 5대강 유역

### 1. 서론

2007년에 발표된 IPCC 4차보고서에 따르면 21세기말 지구의 평균기온이 최대 6.3°C 오를 것으로 전망되며, 평균기온이 3°C 상승할 경우 아시아에서만 연간 700만 명 이상이 홍수피해에 직면할 것이라고 제시하였다. 전 세계적으로 이제 기후변화는 기정사실로 받아들여지고 있으며, 국내에도 이미 다양한 형태로 그 증거가 나타나고 있다. 이전과는 다른 강도의 극한 강우 및 홍수피해가 발생하고 있으며, 기온의 계절적 변화 역시 뚜렷이 체감할 수 있는 상태이다. 특히, 2002년 태풍 ‘루사’ 및 2003년 태풍 ‘매미’ 등은 많은 인명과 재산 손실을 초래하였으며, 2009년에 발생한 강원도 태백 물 부족 사태 역시 예전에 경험해보지 못한 가뭄사건으로 기록되었다. 이들 홍수 및 가뭄 등과 같은 이상기상현상들이 기후변화와 얼마나 직접적으로 연계되었는지 아직 명확한 평가는 이루

\* 정회원 · 세종대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : ycleemh@paran.com

\*\* 정회원 · 세종대학교 토목공학과 박사수료 · E-mail : bjlee0704@paran.com

\*\*\* 정회원 · 포틀랜드 주립대학교 박사후연구원 공학박사 · E-mail : bobilwon@paran.com

\*\*\*\* 정회원 · 세종대학교 물자원연구소 토목환경공학과 교수 · E-mail : dhbae@sejong.ac.kr

어지지 않았지만, 기후변화는 최근 자연과학 분야의 가장 중요한 이슈가 되었다.

기후변화로 인한 피해를 최소화시키기 위해 국외에서는 수자원의 기후변화에 의한 취약성 평가를 홍수, 용수공급, 가뭄, 유지용수, 수질 등 수자원의 제반 분야별로 실시하고 있지만 아직 국내에서는 이와 같은 연구결과가 제시되고 있지 못한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 이들 제반 분야 가운데 홍수에 대한 취약성 평가 기법을 제시하고, 국내 5대강 유역에 적용하고자 한다.

## 2. 연구 방법

UNDP(2005)에서는 취약성을 민감도(Sensitivity)와 적응능력(Adaptation Capacity)의 함수로 정의하였으며, IPCC(2001)에서는 취약성을 노출(Exposure), 민감도, 적응능력의 함수로 표현하였다. 본 연구에서는 취약성을 식 (1)과 같이 정의하였는데, 이 식은 노출과 민감도의 곱을 적응능력으로 나눈 값을 취약성으로 정의한 것이다. 이는 동일한 적응능력에 대해 기후에 대한 민감도가 높을수록, 노출정도가 심할수록 취약성이 크다는 것을 표현하고 있다.

기후에 대한 시스템의 노출, 민감도, 적응능력을 평가하는 것은 매우 어렵기 때문에 일반적으로 대체 변수(proxy variable)를 이용하여 간접적으로 평가하는 방법이 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 노출, 민감도, 적응능력으로 구분하여 지표들을 선정하였다. 이중 민감도 지표는 일강수량이 80mm 이상인 날의 일수(PN80), 일최대강수량(PX1D), 일최대유출량(MDF)을, 노출 정도는 유역평균표고(ELEV), 인구밀도(POP), 자산가치밀도(ASA)를, 적응능력의 경우는 하천개수율(CI), 내수배제시설의 양수량(PUMP), 다목적댐의 홍수조절용량(DFC)을 선정하였다(정일원, 2008a).

홍수 취약성 평가 기법은 그림 1과 같이 기후 및 인문·사회 자료를 수집하여 각 해당되는 지표 값을 추출한다. 추출된 지표들은 식 (2)를 이용하여 0~1사이의 값으로 정규화되며, 식 (1)에 대입하여 각 유역의 상대적인 취약성을 평가한다. 또한 미래 홍수 취약성 평가는 기후 및 유출 시나리오에 의한 민감도 지표의 변화만을 고려하여 평가하는데, 이는 현재와 같은 조건에서 기후만 변했다는 가정하에 평가하는 것으로 미래의 사회 경제적 변화 및 적응대책 수립 등에 의해 변할 수 있음을 의미한다.

$$\text{취약성(Vulnerability)} = (\text{노출} \times \text{민감도}) / \text{적응능력} \quad (1)$$

$$\text{Normalized value} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

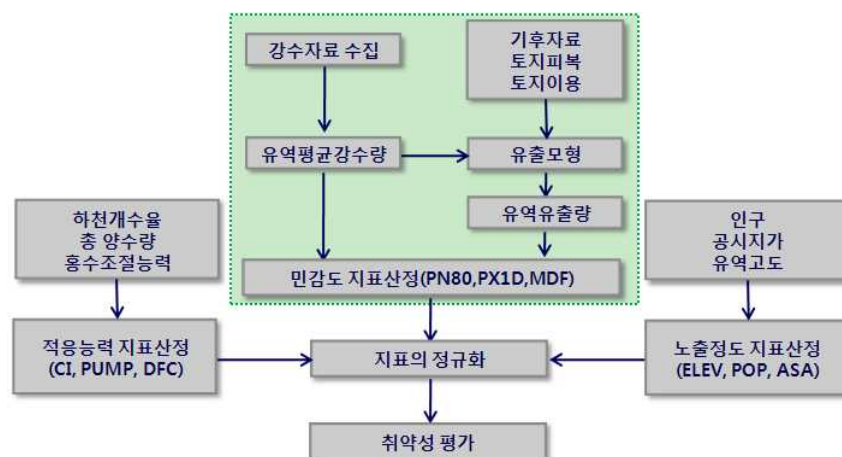


그림 1. 홍수 취약성의 평가 기법

### 3. 적용 및 결과 분석

#### 3.1 대상 유역 선정 및 자료 수집

본 연구에서는 기준기간의 홍수의 취약성을 평가하기 위해 5대강 유역을 109개 중권역으로 구분하여 연구를 수행하였다. 유역별 극한사상 관련 수문기상지표들을 산정하기 위해 1971~2000년 동안의 183개 강우관측소의 강수량 자료를 수집하여 유역 평균 강수량(MAP)을 산정하였으며, 이 강수량 자료를 이용하여 PRMS, SWAT, SLURP 모형에 적용하여 매개변수를 산정하고(정일원, 2008b), 각 유역별 세 모형의 평균 유출량을 산정하였다. 산정된 유역평균강수량 및 유출량을 이용하여 민감도 지표인 PN80, PX1D, MDF를 추출하였다. 노출정도의 경우 자산밀도(ASA)는 공시지가에 대한 국토해양부 연차보고서의 평균공시지가현황을 기준으로 산정하였고, 유역별 인구밀도(POP)는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 2000년 자료를 이용하였으며, 유역의 평균표고(ELEV)도 WAMIS에서 제공하는 자료를 이용하였다. 또한 적응능력의 경우도 WAMIS에서 제공하는 자료를 이용하였는데 그 중 하천개수율(CI)은 외수방어시설로서 일반적으로 전국 행정구역별 통계연보에 수록된 지방 2급하천 이상의 하천을 기준으로 완전개수연장 대비 개수연장을 백분율로 환산하여 산정하며, 내수배제시설의 총양수량(PUMP)은 유역내 내수배제시설의 총양수량을 합하여 산정하였다. 댐홍수조절용량(DFC)은 홍수조절 능력이 있는 댐을 대상으로 이 용량이 하류에도 홍수관리에 영향을 미친다고 가정하여 산정하였다.

#### 3.2 기준기간의 홍수 취약성 평가

취약성 지표 산정결과, 민감도는 대체적으로 한강 및 영·섬강 하류지역에서 높게 산정되었으며, 노출은 자산밀도와 인구밀도가 높은 대도시인 한강 하류 및 낙동강 중·하류에서 높게 산정되었다. 적응능력에서는 하천개수율이 한강 유역에 집중적으로 높았으며, 배수펌프능력은 대도시지역에서 높게 나타났다. 이 결과로 인해 홍수 취약성의 경우 그림 2와 같이 한강 중하류, 영·섬강 하류, 낙동강 하류 지역이 취약한 것으로 나타났다. 하지만 취약한 지역의 주요 요인은 서로 달랐는데 한강의 경우 적응능력은 높지만 노출정도가 타지역에 비해 크며, 낙동강 및 영·섬강 하류유역은 높은 민감도에 비해 적응능력이 낮은 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 2001년까지의 홍수 피해액과 유사한 결과를 보여 본 연구의 취약성 평가 기법의 신뢰성을 확인하였다.

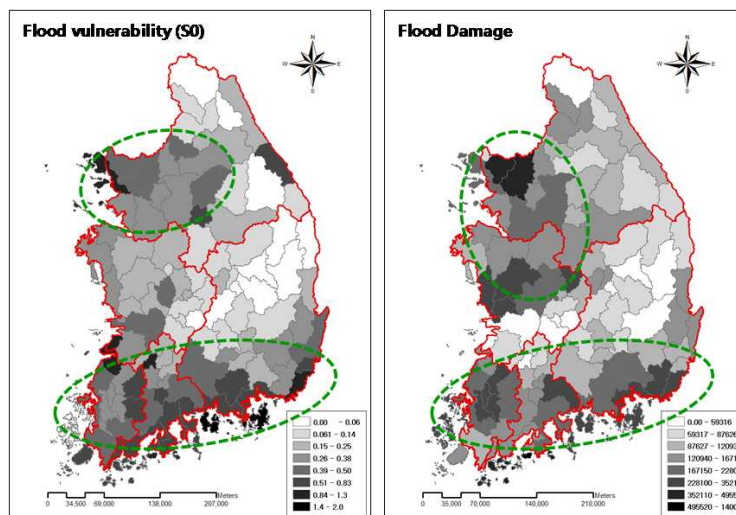


그림 2. 기준기간의 홍수 취약성 평가 결과와 홍수 피해액

### 3.3 미래기간의 기후 및 유출 시나리오 생산

미래 기후 및 유출시나리오는 IPCC AR4(Fourth Assessment Report)에 적용된 A2, A1B, B1 세 개의 온실가스배출시나리오에 대해 공통적으로 결과를 제공하는 13개 GCMs을 선택하였고, CSEOF기법을 이용하여 국내 강우관측소 57개 지점에 통계적 다운스케일링한 자료를 Weather Generator(WXGEN)에 적용하여 강수 및 최고·최저온도, 상대습도, 풍속 등의 일단위 자료를 생산하였다. 앞에서 산정된 39개 미래 기후 시나리오를 이용하여 PRMS, SWAT, SLURP 유출모형에 각기 다른 증발산량 계산방법을 적용하여 109개 유역에 312개의 유출시나리오를 생산하였다.

생산된 미래 기후 및 유출시나리오를 이용하여 미래 민감도 지표를 산정한 결과 그림 3과 같이 모델에 따라 변화율의 차이는 있지만, 기준기간에 비해 꾸준히 증가하는 것으로 나타났는데, 특히 PX1D의 경우 기준기간에 약 110mm에서 S3기간에 130mm로 20% 정도 증가하였으며, PN80의 경우 1.5회에서 1.7회로 약 13%로 정도 증가하는 것으로 나타났다.

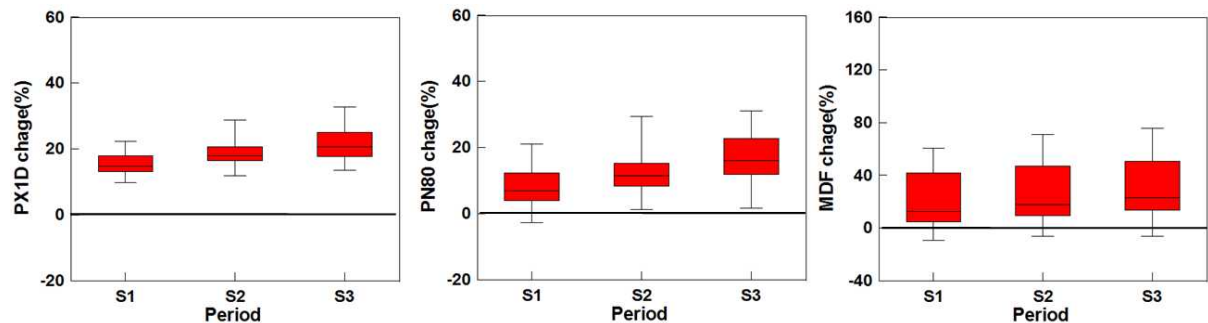


그림 3. 미래기간 홍수 민감도 지표(PX1D, PN80, MDF)의 변동성

### 3.4 미래기간의 홍수 취약성 평가

위에서 산정된 미래 민감도 지표를 이용하여 기준기간 S0(1971 ~ 2000년) 대비 S1(2011 ~ 2040년), S2(2041 ~ 2070년), S3(2071 ~ 2100년) 미래기간의 홍수에 대한 취약성을 평가하였다. 평가 결과 민감도 지표는 모형에 따라 차이는 있었지만, 미래기간에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. PN80의 경우 낙동강 및 한강유역에서 가장 크게 증가하였고, PX1D는 영·섬강 유역을 제외한 모든 유역에서 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 MDF의 경우는 미래기간의 강수량의 증가로 인해 전체유역에서 증가하였다. 이러한 지표의 민감도의 변화로 인해 취약성 분석 결과 공간적 분포는 미래기간별로 유사하게 나타났으며, 대부분의 유역에서 증가하였다. 기간 별로 S1, S2, S3 기간에 각각 약 30%, 40%, 50% 증가 할 것으로 분석되었다. 지역별로 살펴보면 낙동강 77%, 금강 44%, 한강 36%, 섬진강 7%, 영산강 -10%의 홍수 취약성 심도 변화율을 보여, 기후변화로 인해 낙동강 유역이 홍수에 가장 취약할 것으로 판단되었는데, 이는 적응능력이 다른 유역에 비해 작기 때문에 기후 변화에 민감하게 반응하는 것으로 사료된다.

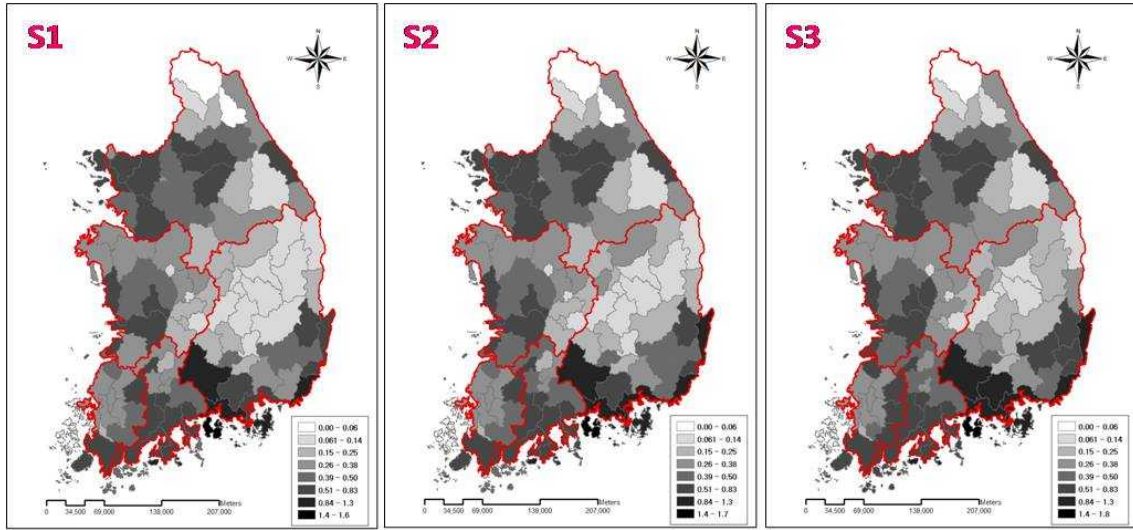


그림 4. 미래 기간(S1, S2, S3)의 홍수 취약성 평가

#### 4. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 홍수 취약성 평가 기법을 제안하였고, 국내 5대강 유역에 적용하여 취약성을 평가하였으며, 또한 미래 기후시나리오를 이용하여 미래 홍수 취약성의 변동성을 평가하였다. 그 결과 현재 기간에는 한강, 영·섬강, 낙동강 하류유역에서 가장 취약한 것으로 나타났으며, 미래기간에는 낙동강 유역에서 가장 변동성이 클 것으로 분석되었다. 향후 지표의 추가 및 개선 등을 통한 평가 기법의 추가 연구가 필요할 것으로 사료되며, 홍수뿐만 아니라 가뭄, 용수공급, 수질 등 수자원 제반분야의 취약성 평가를 통해 불확실한 미래의 재해 경감 및 수자원 확보를 위한 대비책 마련의 근거를 제시하고자 한다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(1-9-3)에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 정일원 (2008a) 혼합상세화 기법을 적용한 국내 수자원의 기후변화 영향평가, 박사학위논문, 세종대학교
2. 정일원 (2008b) 유출모형이 기후변화 수자원 영향평가에 미치는 영향 분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제9호, pp. 907~917
3. IPCC (2001) *Climate change 2001 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge
4. UNDP (2005) *Adaptation policy frameworks for climate change : Developing strategies, policies, and measures*, Cambridge University Press, USA